

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh konstrukce zařízení pro uložení železničního kola do solné komory

Design of Device for Railway Wheel
storing in a Salt Chamber

Student: David Slanina

Osobní číslo: SLA0263

Vedoucí bakalářské práce: Dr. Ing. Jaroslav Melecký

Zadání bakalářské práce

Student: **David Slanina**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 21 Konstrukce výrobních strojů a zařízení
Téma: **Návrh konstrukce zařízení pro uložení železničního kola do solné komory**
Design of Device for Railway Wheel Storing in a Salt Chamber

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci řešení bakalářské práce zpracujete návrh konstrukce zařízení pro uložení železničního kola do solné komory. Bakalářská práce bude obsahovat:

- rešerši a analýzu dané problematiky
- koncept řešení konstrukce ve více variantách
- konstrukční návrh závěsného koše na základě výběru a zhodnocení optimální varianty
- odůvodněnou volbu vhodného materiálu zařízení s ohledem na agresivní prostředí
- potřebné technické výpočty a analýzu napětíových stavů
- 3D model zařízení ve vhodném CAD systému
- příslušnou výkresovou dokumentaci

Při řešení vezměte v úvahu hmotnost železničního kola 380 kg.

Bližší specifikace nutných technických údajů a požadavků bude upřesněna v průběhu řešení bakalářské práce na základě konzultací s firmou BONATRANS GROUP a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

- KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části spojovací: skriptum*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 90 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- JERÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1.vyd. Praha, Ediční středisko ČVUT Praha, 1999. 119 s.
- ČÁSENSKÝ, M. *Metodika konstruování*. 1. vyd. Praha, Ediční středisko ČVUT Praha, 1990. 122 s.
- LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* (4. přepracované vydání). Úvaly, 2008, ALBRA – pedagogické nakladatelství. 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- ČSN ISO 690 *Bibliografické citace*. Obsah, forma a struktura. Praha, Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Dr.Ing. Jaroslav Melecký**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
vedoucí katedry

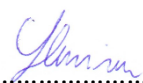


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18.5.2020


.....

Podpis studenta

Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

Firma:

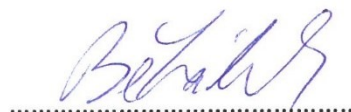
BONATRANS GROUP a.s.

Revoluční 1234, 735 94 Bohumín

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

Vít Běhálek

V Ostravě dne 18.5.2020

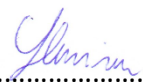


Podpis oprávněné osoby

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, же podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18.5.2020



.....

Podpis studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

SLANINA, D. *Návrh konstrukce zařízení pro uložení železničního kola do solné komory: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 40 s. Vedoucí práce Melecký, J.

Bakalářská práce se zabývá návrhem stojanu pro uložení železničního kola do solné komory. V úvodu se práce zabývá problematikou korozního testování. Hlavní část práce zahrnuje volbu materiálu a pak samotný návrh zařízení. Výstupem bakalářské práce je výkresová dokumentace, která se použije pro výrobu zařízení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

SLANINA, D. *Design of Device for Railway Wheel Storing in a Salt Chamber: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020, 40 p. Thesis head: Melecký, J.

Bachelor thesis deals with design of device for railway wheel storing in a salt chamber. The opening of the thesis focuses on corrosion testing. The main part of the thesis contains choice of material and description of device design. The output of this thesis is drawing documentation which will be used for production.

Obsah	
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	10
ÚVOD	11
1 ZKOUŠKY SOLNOU MLHOU (SST)	12
1.2 Dělení SST	12
1.2.1 Zkouška neutrální solnou mlhou (NSS)	12
1.2.2 Zkouška okyselenou solnou mlhou (AASS)	12
1.2.3 Zkouška okyselenou solnou mlhou s chloridem měďnatým (CASS)	13
1.2.4 Necyklické zkoušky	13
1.2.5 Cyklické zkoušky (CCT)	14
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU A VYTYČENÍ CÍLŮ PRÁCE	15
2.1 Komora S2600iP	16
2.1.1 Popis částí solné komory	16
2.1.2 Zkušební prostor solné komory S2600iP	17
2.2 Železniční kola	18
2.3 Cíle práce	19
3 KONCEPTY ŘEŠENÍ KONSTRUKCE	20
3.1 Varianta 1	20
3.2 Varianta 2	20
3.3 Varianta 3	21
3.4 Varianta 4	22
3.5 Zhodnocení konceptů a výběr řešení	22
4 NÁVRH KONSTRUKCE	24
4.1 Výběr materiálu	24
4.2 Volba profilu	25
4.2.1 Kontrola obdélníkového profilu	25
4.2 Popis navržené konstrukce	27
4.2.1 Horizontální nosníky	28

4.2.2 Výztuhy	29
4.2.3 Podpěry	30
4.3 Kontrola MKP	31
4.3.1 Vstupní data	31
4.3.2 Zjednodušení	31
4.3.3 Síťování	32
	32
4.3.4 Okrajové podmínky	33
4.3.5 Výsledky MKP analýzy	34
4.4 Vizualizace	36
ZÁVĚR	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	39
SEZNAM PŘÍLOH	41

Seznam použitých značek a symbolů

AASS	Acetic Acid Salt Spray, zkouška okyselenou solnou mlhou
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
ASTM	American Society for Testing and Materials, druh americké normy
CAD	computer aided design
CASS	Copper accelerated Salt Spray, solná mlha s chloridem měďnatým
CCT	Cyclic corrosion testing, cyklické korozní zkoušky
HDPE	high density polyethylene, polyethylen s vysokou hustotou
MKP	metoda konečných prvků
NSS	Neutral Salt Spray, zkouška neutrální solnou mlhou
PVC	polyvinylchlorid
SST	Salt Spray Test, zkouška solnou mlhou

a	[mm]	šířka profilu
b	[mm]	výška profilu
F	[N]	zatěžující síla
g	[m·s ⁻²]	tíhové zrychlení
J _y	[mm ⁴]	moment setrvačnosti k ose y
k _s	[-]	součinitel bezpečnosti
L	[mm]	délka nosníku
m	[kg]	uvažovaná hmotnost kola
M _o	[N·m]	ohybový moment
z _{MAX}	[mm]	maximální vzdálenost krajního vlákna od osy ohybu
ρ	[g·cm ⁻³]	hustota materiálu
σ _D	[MPa]	dovolené napětí
σ _K	[MPa]	mez kluzu materiálu
σ _{MAX}	[MPa]	maximální napětí

Úvod

Téma této bakalářské práce jsem získal po kontaktování firmy BONATRANS GROUP a.s. Z firmy mi byla následně nabídnuta celkem 3 různá témata, všechna vhodná pro mé zaměření. Po konzultaci s firmou a vedoucím bakalářské práce jsem se rozhodl pro toto téma, přičemž hlavním důvodem byla důležitost tématu pro vývojové oddělení firmy.

Firma BONATRANS GROUP a.s. se zabývá výrobou železničních kol, dvojkolí a náprav, a to od vývoje technologií až po samotnou montáž pro všechny druhy kolejových vozidel. Dále pro své zákazníky zajišťuje i servis a recyklaci a své výrobky následně dodává do celého světa. Firma si zakládá na odbornosti, kvalitě a stálých inovacích svých výrobků a pro udržení dosažení těchto cílů vznikl požadavek testovat korozivzdornost vyrobených kol. Pro tyto účely byla zakoupena speciální solná komora.

Mým úkolem a cílem mé bakalářské práce bude navrhnout zařízení (stojan) pro uložení železničního kola do již zmíněné solné komory. Mnou navržené zařízení nesmí omezit průběh testování a jeho materiál musí odolat korozi vyvolané solnou mlhou uvnitř komory.

1 Zkoušky solnou mlhou (SST)

Zkoušky solnou mlhou, anglicky salt spray test (SST) nebo salt fog test, jsou metody zkoušení odolnosti proti korozi povrchu materiálů nebo jejich povlaků, zejména zjistí přítomnost povrchových nespojitostí jako jsou póry a další defekty.

Fungují na principu vystavení zkoušeného dílu chemicky agresivnímu prostředí. Toto prostředí vzniká v uzavřeném zkušebním prostoru solné komory rozprašováním zkušební roztoku za pomoci trysek. Zkušební roztok je směs destilované vody a chloridu sodného NaCl. Koncentrace NaCl v roztoku se pohybuje řádově v procentech (Např. norma ČSN EN ISO 9227 uvádí 5 %).

Metoda SST je především určena pro kovy a jejich slitiny, či pro kovové i organické povlaky. Muže být však použita i pro zkoušení keramiky a polymerů. Zkoušky solnou mlhou jsou normalizovány. V normách jsou uvedeny testovací parametry potřebné pro provedení zkoušky, například doba trvání zkoušky, koncentrace roztoku, teplota roztoku, tlak, pod kterým je roztok rozprašován, jeho příprava a příprava vzorků. Mezi nejběžněji používané normy patří ASTM B117, ISO 9227, ASTM G85 a JIS Z 2371.

1.2 Dělení SST

Zkoušky solnou mlhou se dělí podle dvou hledisek, a to podle pH solného roztoku a podle času vystavení testovaných vzorků chemikáliím.

Dělení podle pH solného roztoku:

- Zkouška neutrální solnou mlhou (NSS)
- Zkouška okyselenou solnou mlhou (AASS)
- Zkouška okyselenou solnou mlhou s chloridem měďnatým (CASS)

Dělení podle času vystavení:

- Necyklické zkoušky – trvalé vystavení solné mlze
- Cyklické zkoušky – přerušované vystavení solné mlze

1.2.1 Zkouška neutrální solnou mlhou (NSS)

Při testování odolnosti výrobku pomocí solné mlhy musí být roztok upraven tak, aby se hodnota jeho pH pohybovala v rozmezí 6,5 – 7,2 měřeno při teplotě $25\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Úpravy pH se provádí pomocí roztoků kyseliny chlorovodíkové HCl, hydroxidu sodného NaOH nebo uhličitanu sodného Na_2CO_3 .

1.2.2 Zkouška okyselenou solnou mlhou (AASS)

Druhou možností je použití okyselené solné mlhy, kdy se k solnému roztoku přidává ledová kyselina octová $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ (bezvodá forma kyseliny octové), tak aby pH roztoku bylo

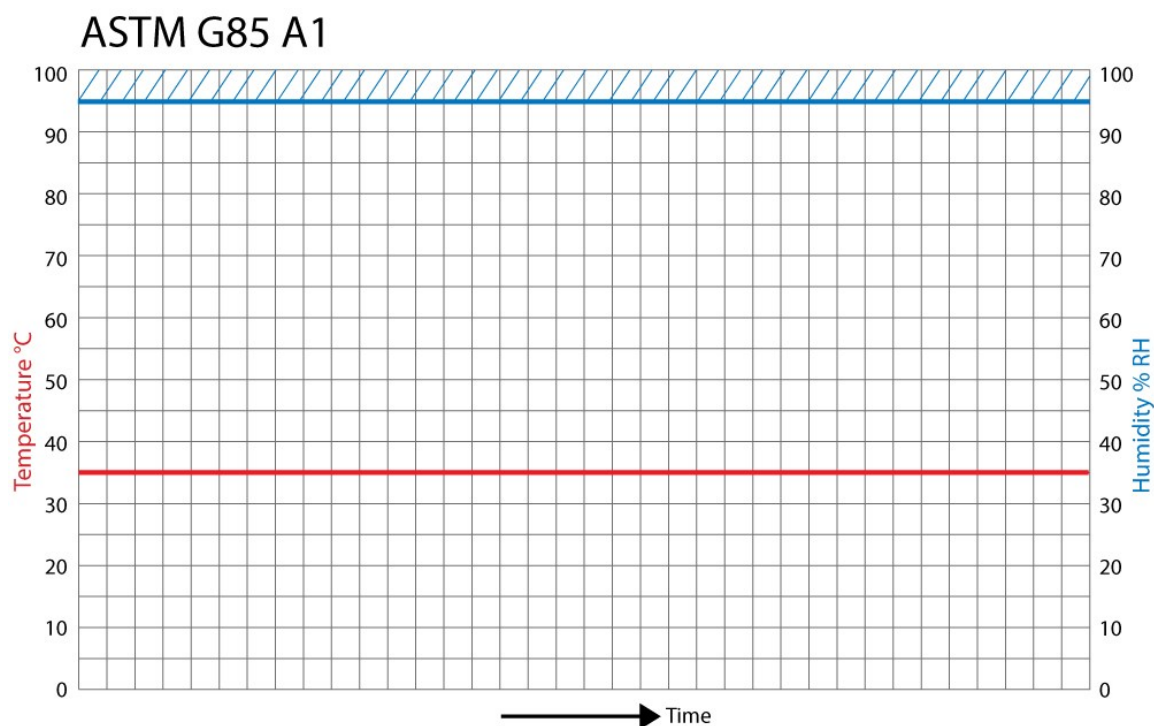
v rozmezí 3,1 – 3,3. K úpravě pH se kromě kyseliny octové používá hydroxid sodný NaOH a uhličitan sodný Na₂CO₃.

1.2.3 Zkouška okyselenou solnou mlhou s chloridem měďnatým (CASS)

Pro získání okyselené solné mlhy je také možné použít alternativní způsob, a to pomocí chloridu měďnatého. Do solného roztoku se konkrétně přidává dihydrát chloridu měďnatého CuCl₂ · 2H₂O, tak aby jeho výsledná koncentrace byla 0,26 g/l. pH se upravuje obdobně jako při zkoušce okyselenou solnou mlhou.

1.2.4 Necyklické zkoušky

Při testování necyklickým způsobem je solný roztok rozprašován rovnoměrně během celé doby trvání zkoušky. Tato doba se vybírá z normalizované řady a odvíjí se od použitého materiálu a požadavků na výrobek. Čas zkoušky se pohybuje nejčastěji v řádu desítek hodin, případně stovek. Teplota a vlhkost uvnitř solné komory zůstává po celou dobu konstantní, jak lze vidět na následujícím obrázku.



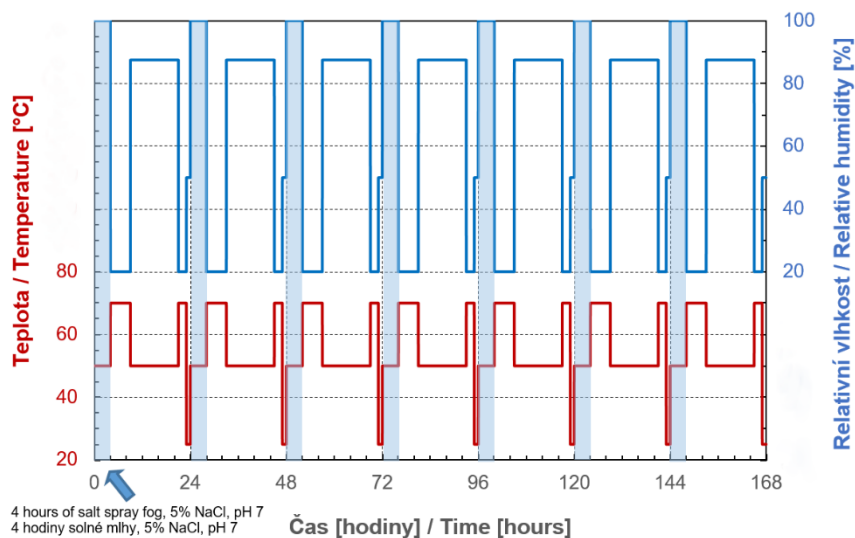
Obrázek 1 – Graf průběhu necyklické zkoušky podle ASTM G85 A1

Zdroj: https://en.wikipedia.org/wiki/Salt_spray_test

Výhodou této metody jsou nízké náklady na její provedení, je relativně rychlá a je snadno opakovatelná. Výsledky však nemusí přesně odpovídat skutečnému provozu.

1.2.5 Cyklické zkoušky (CCT)

Opakem jsou cyklické zkoušky, které slouží k napodobení změny klimatu během života testované součásti. Solný roztok není do zkušebního prostoru rozprašován trvale ale v intervalech, které se řádově pohybují v desítkách minut až hodinách. Délka a počet intervalů vstřikování se v různých normách liší. Teplota a vlhkost se také mění v průběhu testu. Příklad průběhu takovéto zkoušky lze vidět na obrázku 2.



Obrázek 2 – Průběh cyklické zkoušky používané automobilkou
Toyota

Zdroj: <https://www.technopark-kralupy.cz/urychlene-korozni-zkousky#>

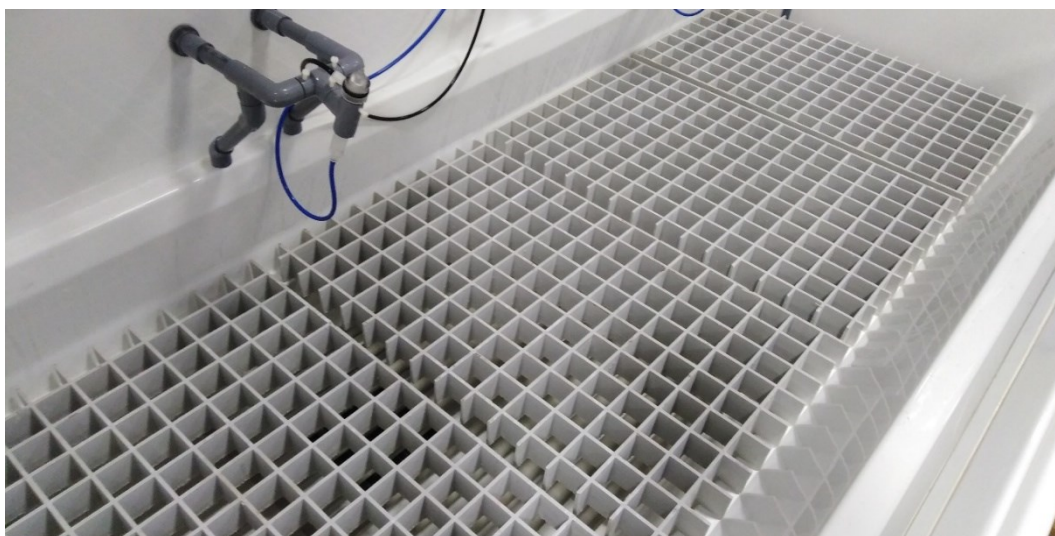
2 Přehled současného stavu a vytyčení cílů práce

Na dalším obrázku (obrázek 3) lze vidět solnou komoru, zakoupenou pro zkoušení korozivzdornosti vyrobených kol. Jedná se o solnou komoru S2600iP firmy Ascott, určenou pro necyklické zkoušky a díky vyztuženému rámu je vhodná i pro testování velmi těžkých součástí, a to až do 900 kg. Komora byla na požadavky firmy BONATRANS upravena tak, aby víko komory mohly být otevřeny co nejvíce a byl tak zajištěn co největší prostor k manipulaci při umísťování těžkého železničního kola do zkušebního prostoru.

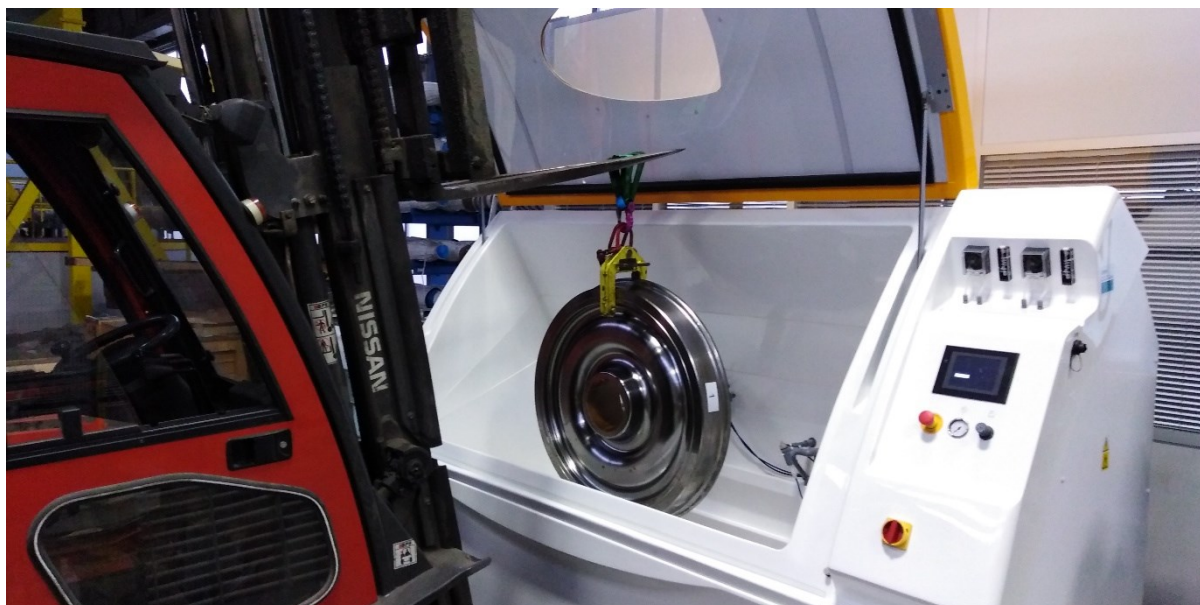


Obrázek 3 – Solná komora S2600iP

Vnitřní rozměry zkušebního prostoru komory nedovolují umístění kola na rošty dodávané výrobcem (obrázek 4). Proto je mým úkolem navrhnout zařízení (stojan) pro uložení kola ve svislé poloze. Testované železniční kolo se bude umísťovat na stojan pomocí vysokozdvizného vozíku, tento způsob lze vidět na obrázku 5.



Obrázek 4 – Rošty pro uložení zkoušených součástí

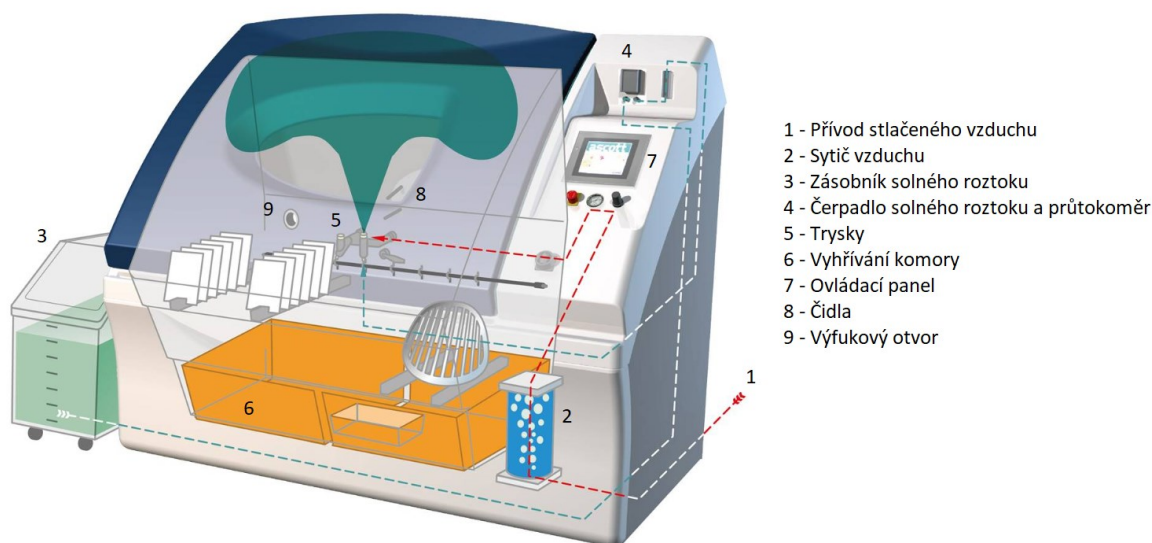


Obrázek 3 – Způsob umístění kola do zkušebního prostoru

2.1 Komora S2600iP

2.1.1 Popis částí solné komory

Na následujícím obrázku (obrázek 6) lze vidět 9 základních částí solné komory.



Obrázek 4 – Schéma solné komory

Zdroj: <https://www.ascott-analytical.com/>

Přívod stlačeného vzduchu – Slouží pro připojení samostatného zdroje stlačeného vzduchu, a to buď kompresoru nebo místního rozvodu. Stlačený vzduch je nutný ke tvorbě solné mlhy a nesmí obsahovat žádné pevné ani kapalné nečistoty. Tlak přiváděného stlačeného vzduchu by se měl pohybovat v rozmezí 1,4 – 6 barů.

Sytič vzduchu – Vzduch využívaný pro tvorbu solné mlhy se prohání přes sytič, aby se zajistila dostatečná vlhkost vzduchu před vstupem do trysky. Jedná se o válcovou nádobu

naplněnou destilovanou vodou. Teplotu uvnitř sytiče lze nastavit až do 63 °C, obvykle je nastavena několik stupňů výše než teplota uvnitř komory. Snižuje se tak ochlazení způsobené rozpínáním vzduchu při vyfukování z trysky.

Zásobník solného roztoku – Zásobník je umístěn mimo komoru, kvůli snadnějšímu čištění a doplňování. Během průběhu testu je zkušební solný roztok tažen čerpadlem uvnitř komory přes primární filtrační jednotku, která zachycuje velké nerozpuštěné krystaly soli a další nečistoty. Zásobníky roztoku mohou být vybaveny vzduchovým mísícím zařízením, které udržuje solný roztok homogenní.

Čerpadlo solného roztoku a průtokoměr – Komory jsou v závislosti na objemu vybaveny jedním nebo dvěma peristaltickými čerpadly. Čerpadla slouží k dopravení solného roztoku k tryskám. Rychlost čerpadel je nastavitelná, aby bylo možné regulovat množství dopadajícího solného roztoku na zkoušené součásti.

Trysky – V tryskách se setkává stlačený vzduch se solným roztokem, výsledná solná mlha je pak rozprašována hrdlem trysek do uzavřeného zkušebního prostoru komory. Trysky jsou vyrobeny z tepelně stabilního polymeru, aby zaručily rovnoměrnou distribuci mlhy. Obsahují vnitřní filtr k minimalizaci usazenin v hrdle. Jejich počet je závislý na objemu solné komory.

Vyhřívání komory – Vyhřívání vnitřního prostoru komory je zajištěno pomocí topných rohoží. Ty jsou umístěny vespod a v bocích zkušebního prostoru. Topné rohože poskytují teplotu do 50 °C.

Ovládací panel – Ovládací panel tvoří hlavní rozhraní mezi strojem a obsluhou. Pomocí panelu probíhá téměř všechna obsluha zařízení, od otevírání víka komory po nastavení všech parametrů zkoušek. Během zkoušení jsou na panelu zobrazovány všechny veličiny.

Čidla – Jsou umístěny uvnitř zkušebního prostoru a také v sytiči vzduchu. Slouží k monitorování klimatických podmínek uvnitř komory, především teploty a vlhkosti.

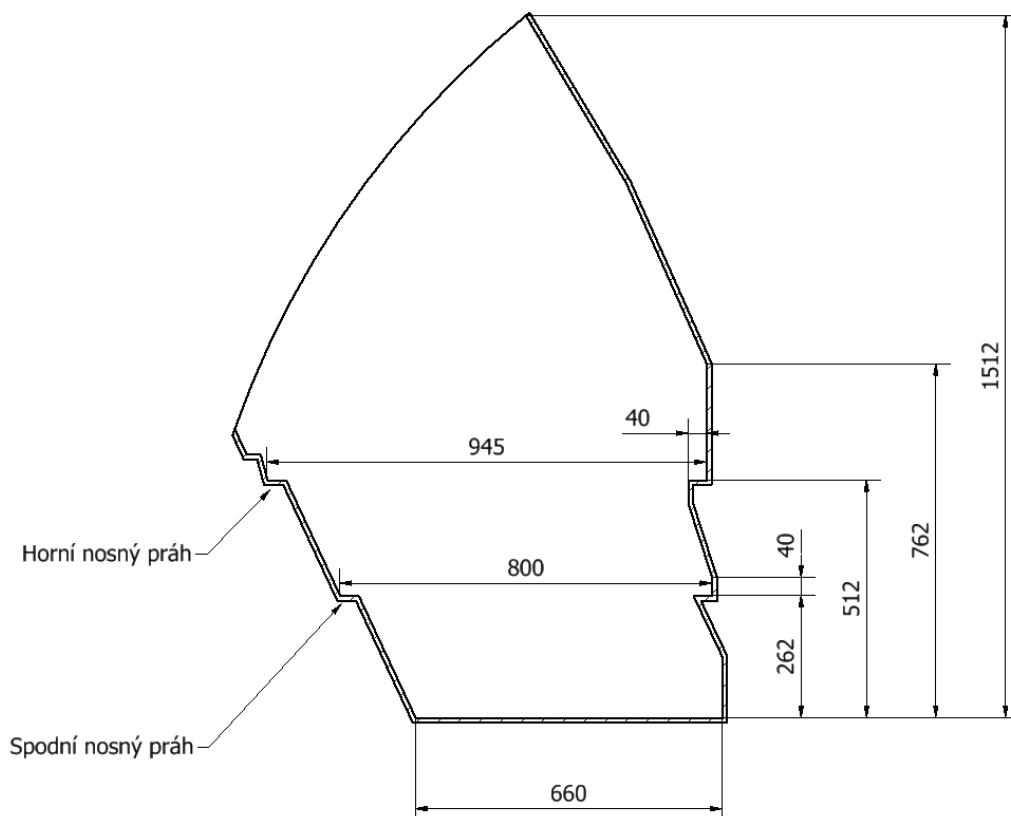
Výfukový otvor – Výfukový otvor slouží k odvodu solné mlhy ze zkušebního prostoru. Výfuk by měl být nasměrován tak aby pára nepřišla do kontaktu s osobami a dalším majetkem. Některé komory mohou být vybaveny systémem, který zachytává vyfukovanou solnou mlhu a vrací ji zpět do komory.

2.1.2 Zkušební prostor solné komory S2600iP

Zkušební prostor komory je zhotoven z polypropylenu, PVC a plastem vyztuženým sklem (výrobce přesně neuvádí). Prostor je navíc ve dvou nosných úrovních (prazích) zpevněn ocelovými nosníky, které jsou schovány pod plastovou vanou.

Objem zkušebního prostoru je 2600 l. Největší rozměry jsou: šířka 2160 mm, hloubka 990 mm a výška 1500 mm. K vymodelování zkušebního prostoru pro svou práci jsem využil

obchodního výkresu, který byl dodán s komorou, a vlastního měření. Další důležité rozměry jsou znázorněny na obrázku 7.

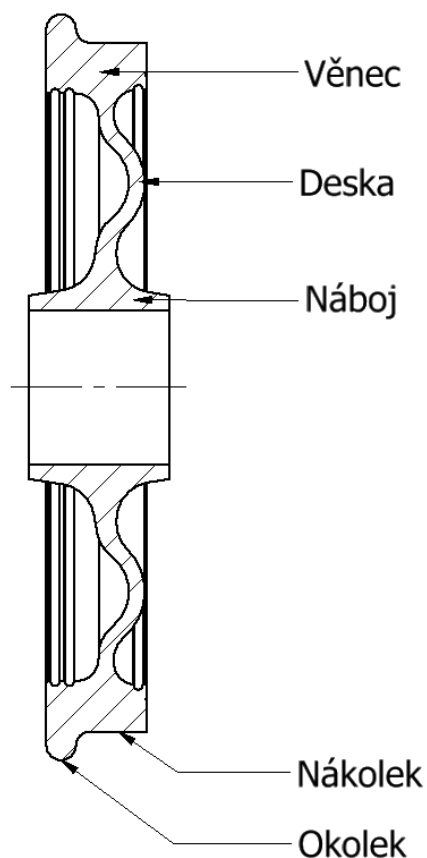


Obrázek 5 – Řez zkušebního prostoru (pohled z boku)

2.2 Železniční kola

Kola jsou nezbytnou součástí kolejových vozidel. Vyrábí se tvářením na kovacím lise, kde kolo získává základní tvar. Zpřesnění tvaru pak probíhá na válcovací lince. Materiálem pro výrobu kol je kontinuálně litá vakuovaná ocel, která se dělí na špalky. Požadované vlastnosti kolo získává tepelným zpracováním.

Existují dva druhy železničních kol, jsou to obručová kola a celistvá kola. **Obručové kolo** se skládá ze tří částí: kotouče, obruče a vzpěrného kroužku. Obruč je za tepla nalisována na kotouč a zajištěna vzpěrným kroužkem. **Celistvé kolo** je zhotoveno z jednoho kusu oceli. Kola mohou být doplněna o prvky tlumící hluk.



Obrázek 6 – Stavba celistvého kola

Pro vypracování práce mi byly poskytnuty firmou BONATRANS a.s. výkresy 4 kol. Z těchto kol jsem použil kolo o průměru 920 mm. (Průměr kola se vztahuje k průměru nákolku)

2.3 Cíle práce

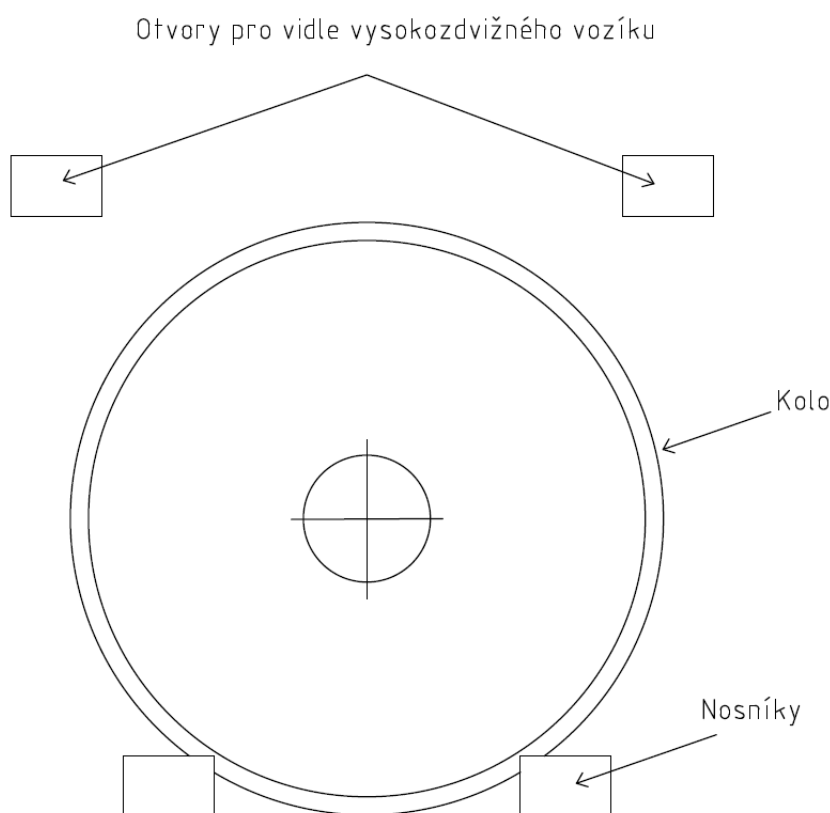
Jak je již zmíněno výše, cílem mé práce je návrh stojanu pro uložení kola do svislé polohy. Stojan musí být navržen tak, aby bezpečně unesl tíhu železničního kola a odpovídal jeho rozměrům. Materiál musí být zvolen vhodně vzhledem ke konstrukčním požadavkům a agresivnímu prostředí, ve kterém bude zařízení umístěno. Samotná konstrukce nesmí omezovat distribuci solné mlhy uvnitř komory. Stojan bude používán jak pro již dříve zmíněné kolo průměru 920 mm, tak i pro kola menších průměrů.

3 Koncepty řešení konstrukce

V této kapitole jsou popsány varianty řešení konstrukce, které jsem navrhl. Jedná se pouze o schématické náčrty možných konstrukcí. Náčrty proto zobrazují pouze polohu kola, podpěr a dalších funkčních prvků. Z variant jsem vybíral nejvhodnější řešení na základě požadavků a komunikaci s firmou.

3.1 Varianta 1

V první variantě jsem uvažoval s případem, kdy bude stojan postaven mimo solnou komoru a poté na něj bude usazeno testované železniční kolo. Celý stojan by se pak i s kolem usadil pomocí vysokozdvížného vozíku do solné komory.

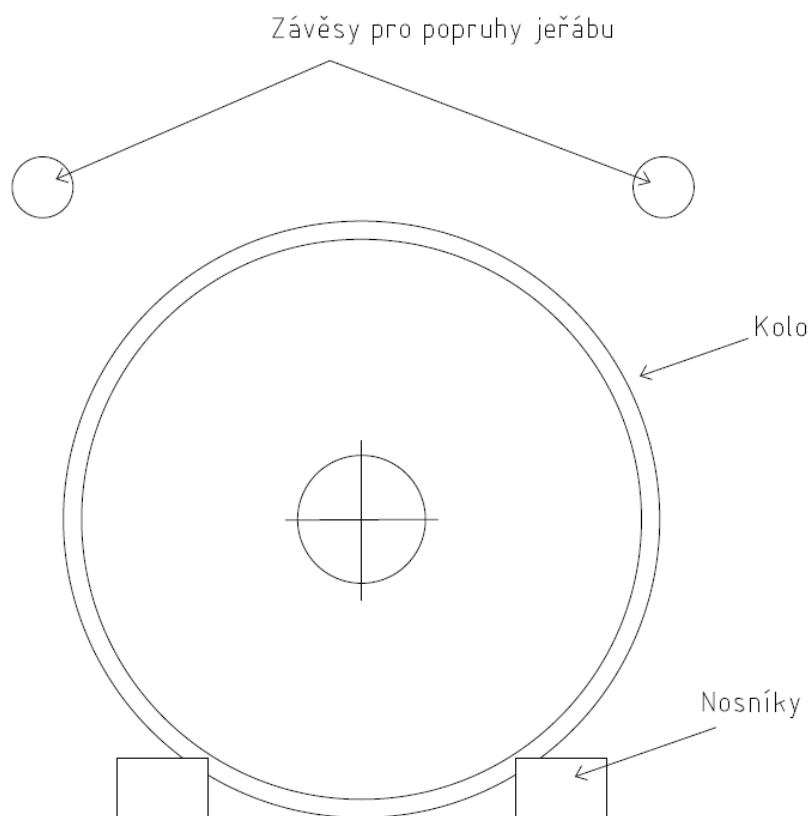


Obrázek 7 – Schéma varianty 1

Tíhu kola by nesly 2 nosníky umístěny ve spodní části stojanu. V horní části stojanu by se nacházely otvory pro zasunutí vidlí vysokozdvížného vozíku. Samotné kolo by pak muselo být zajištěno, aby se zabránilo jeho překlopení.

3.2 Varianta 2

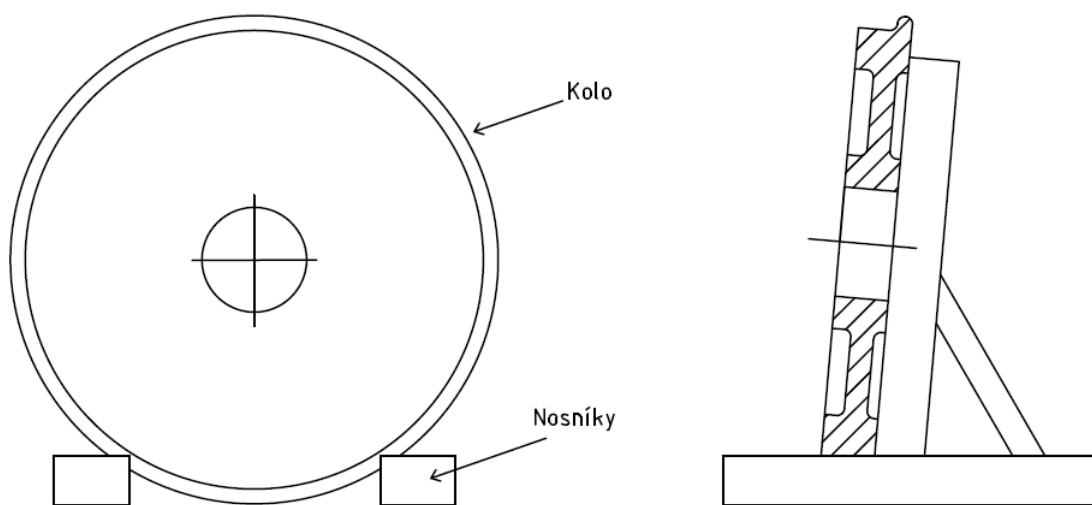
Varianta číslo 2 je obdoba první varianty. Rozdíl by byl ve způsobu dopravení stojanu s upevněným kolem do zkušebního prostoru solné komory. V tomto případě by byl stojan opatřen závěsy pro popruhy jeřábu, kterým by se pak stojan přemístil.



Obrázek 8 – Schéma varianty 2

3.3 Varianta 3

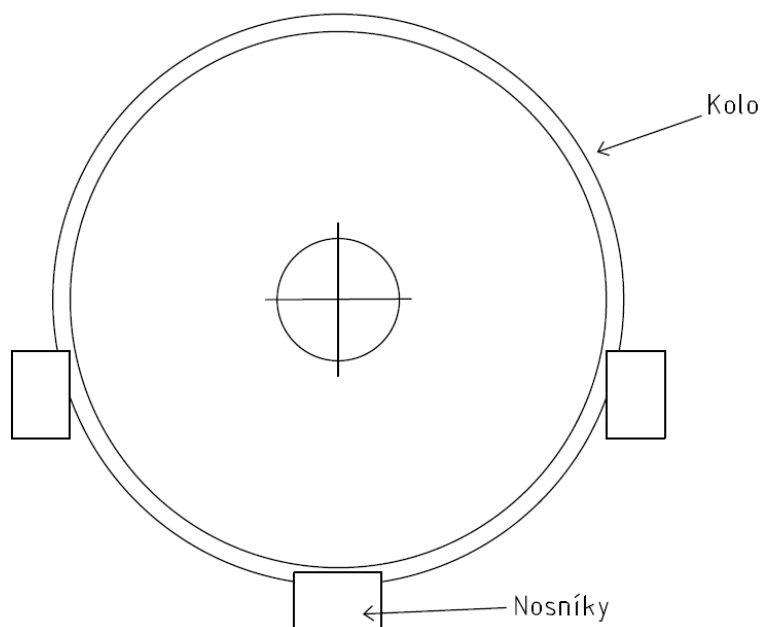
V této variantě jsem uvažoval s případem, kdy by se samotný stojan již nacházel ve zkušebním prostoru a následně by se na něj položilo železniční kolo pomocí vysokozdvizného vozíku nebo jeřábu. Kolo by bylo položeno na dva nosníky a svou zadní stranou by se opíralo o dva mírně nakloněné vertikální nosníky.



Obrázek 9 – Schéma varianty 3

3.4 Varianta 4

Poslední varianta je obdobou třetího návrhu. Rozdíl v konstrukci by byl v podepření kola ve svislém směru. Zkoušené železniční kolo by bylo vespod podepřeno o jeden nosník. Ze stran by se obvod kola opíral o dva nosníky.



Obrázek 10 – Schéma varianty 4

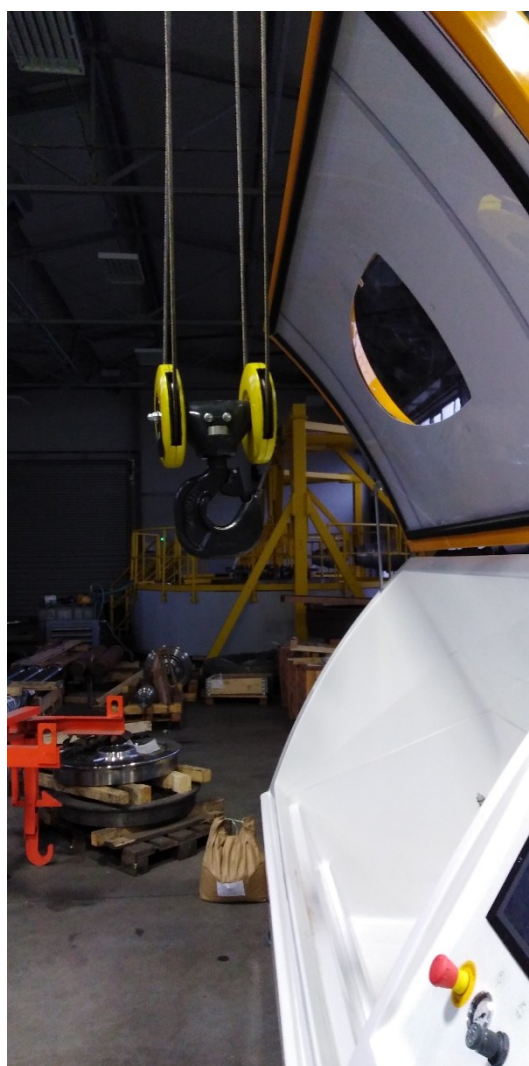
3.5 Zhodnocení konceptů a výběr řešení

V této kapitole musím podotknout, že koncepty vznikly před dodáním solné komory do firmy. Po dodání se zjistilo, že dveře komory nelze dostatečně otevřít tak, aby umožnily manipulaci pomocí jeřábu (viz. obrázek 13). Z tohoto důvodu jsou varianty 1 a 2 neproveditelné. Výběr se tedy zúžil na varianty 3 a 4. Z těchto dvou možností jsem zvolil variantu 3. Konstrukce tohoto návrhu bude jednodušší a bude vyžadovat méně materiálu. Stojan tak bude lehčí a umožní tím snadnější manipulaci při jeho vkládání do komory. Jednodušší konstrukce také znamená menší omezení rozptylu zkušebního roztoku v prostoru solné komory.

Tabulka 1 – Hodnocení konceptů

Varianty	Jednoduchost konstrukce	Snadnost manipulace	Stabilita kola	Průměr
Varianta 1	3	2	2	2,33
Varianta 2	3	1	2	2
Varianta 3	1	3	2	2
Varianta 4	2	4	1	2,33

Známkování: 1 – nejlepší, 5 – nejhorší



Obrázek 11 – Maximální přisunutí háku ke komoře

4 Návrh konstrukce

4.1 Výběr materiálu

Při výběru materiálu jsem se řídil požadavky uvedenými v normě ČSN EN ISO 9227. Norma uvádí: *Všechny součásti, které jsou ve styku s rozprašovaným nebo se zkušebním roztokem, musí být vyrobeny z materiálů odolných proti korozi způsobované zkušebním roztokem a neovlivňujících korozní agresivitu rozprašovaných zkušebních roztoků, nebo musí být takovými materiály potaženy. Držáky zkušebních vzorků musí být zkonstruovány tak, aby se podklady různých typů navzájem neovlivňovaly. Dále musí být zkonstruovány tak, aby samotné držáky neovlivňovaly zkušební vzorky.* [1] Na základě těchto požadavků jsem se rozhodoval mezi dvěma termoplasty, a to mezi HDPE (polyethylen s vysokou hustotou) a ABS (akrylonitrilbutadienstyren).

Vlastnosti HDPE:

- Hustota $\rho = 0,96 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ [8]
- Tvrdost 80–112 HR [8]
- Mez kluzu $\sigma_K = 26 \text{ MPa}$ [8]
- Maximální pracovní teplota 80–120 °C [8]
- Chemická odolnost vůči kyselinám, hydroxidům a mnoha dalším roztokům [10]
- Dobrá svařitelnost horkým plynem, topným tělesem a třením [11]

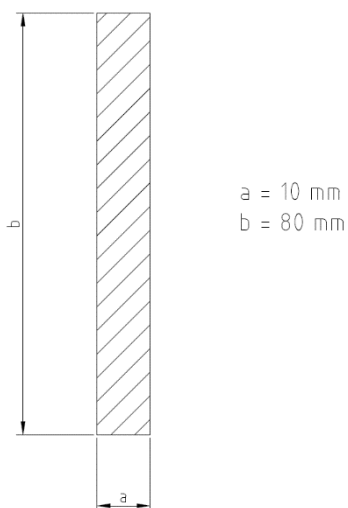
Vlastnosti ABS:

- Hustota $\rho = 1,04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ [9]
- Tvrdost 103–112 HR [9]
- Mez kluzu $\sigma_K = 44 \text{ MPa}$ [9]
- Maximální pracovní teplota 88–89 °C [9]
- Odolnost proti kyselinám, hydroxidům, alkoholům, přírodním i syntetickým olejům [10]
- Dobrá svařitelnost horkým plynem, topným tělesem, třením i ultrazvukem [11]

Oba termoplasty mají srovnatelné vlastnosti, co se týče chemické odolnosti a svařitelnosti. HDPE i ABS mají spodní hranici maximální pracovní teploty vyšší, než je teplota uvnitř solné komory během průběhu testu (ta se pohybuje okolo 50 °C). Materiály se výrazně liší v hodnotě meze kluzu. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl použít pro návrh stojanu materiál ABS.

4.2 Volba profilu

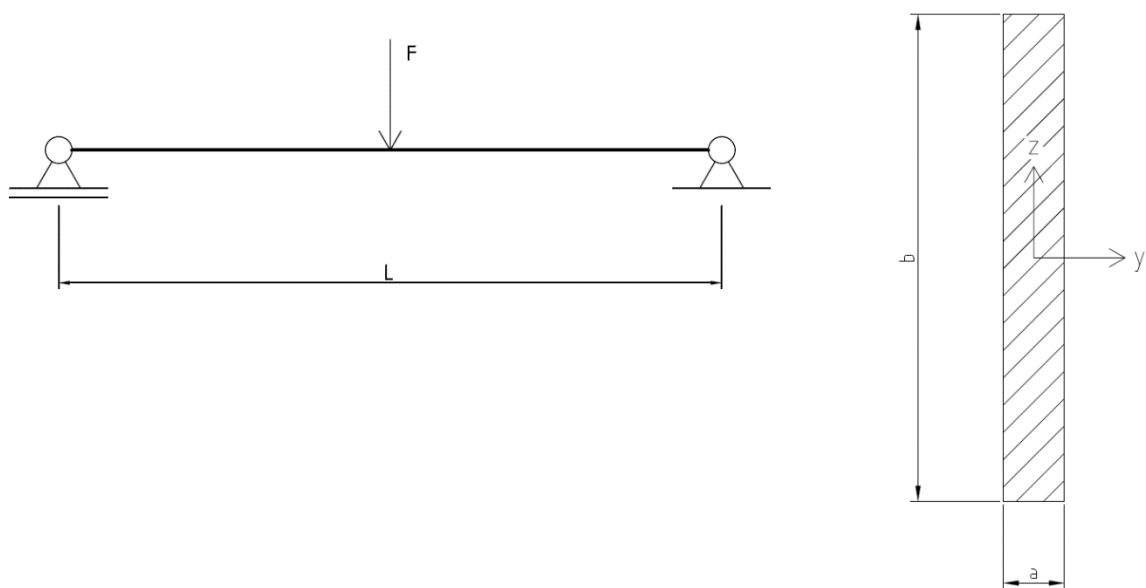
Konstrukce celého stojanu bude svařovaná. Rozhodl jsem se tedy použít profil obdélníkového průřezu. Profily se tak budou moct vyrábět z ABS desek. Při dimenzování jsem se řídil výpočtem, kterému se věnuje podkapitola 4.2.1. Rozměry profilů jsem volil podle vyráběných tloušťek ABS desek [12]. Rozměry použitého profilu jsou uvedeny na obrázku 14.



Obrázek 12 – Rozměry profilu

4.2.1 Kontrola obdélníkového profilu

Zvolený profil jsem se rozhodl zkontrolovat na ohyb. Výpočet je zjednodušený, protože slouží pouze ke kontrole samotného obdélníkového profilu. Uvažuji v něm rovnoměrné rozdělení tíhové síly kola na čtyři profily z ABS desek, které budou tvořit nosníky. Počítal jsem s hmotností kola 380 kg podle zadání bakalářské práce.



Obrázek 13 - Výpočet

Vstupní hodnoty:

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$L = 760 \text{ mm}$$

$$m = 380 \text{ kg}$$

$$\sigma_K = 44 \text{ MPa}$$

$$k_s = 1,3$$

Výpočet ohybového momentu M_o :

$$M_o = F \cdot \frac{L}{2} \quad (1)$$

$$M_o = \frac{m}{4} \cdot g \cdot \frac{L}{2}$$

$$M_o = \frac{380}{4} \cdot 9,81 \cdot \frac{0,76}{2} = 354 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Výpočet momentu setrvačnosti J_y :

$$J_y = \frac{1}{12} \cdot a \cdot b^3 \quad (2)$$

$$J_y = \frac{1}{12} \cdot 10 \cdot 80^3 = 426\,666,67 \text{ mm}^4$$

Kontrola na ohyb:

$$\sigma_{MAX} \leq \sigma_D \quad (3)$$

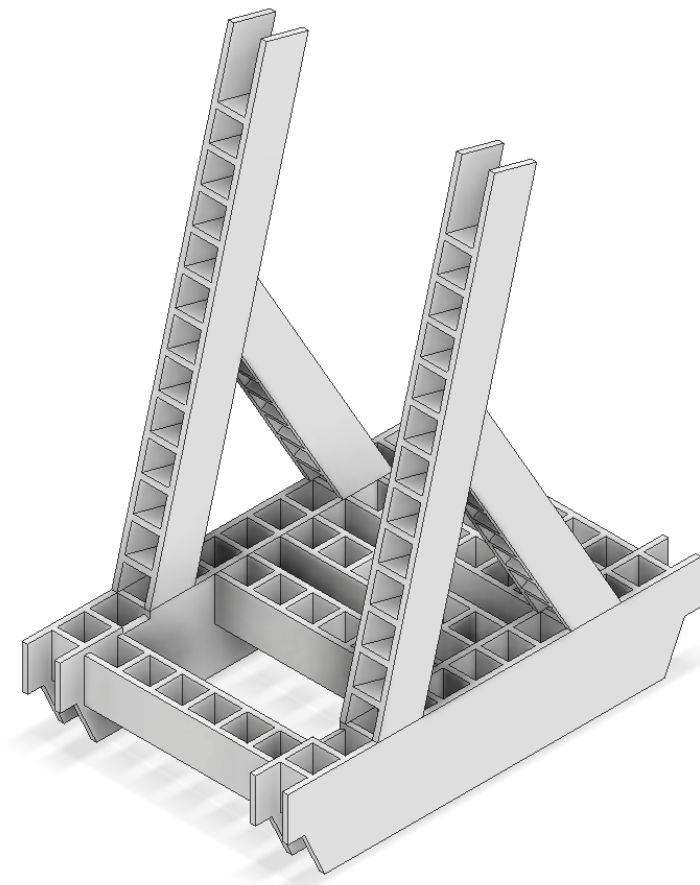
$$\frac{M_o}{W_o} \leq \frac{\sigma_K}{k_s}$$

$$\frac{M_o}{J_y} \cdot z_{MAX} \leq \frac{\sigma_K}{k_s}$$

$$\frac{354\,000}{426\,666,67} \cdot 40 \leq \frac{44}{1,3}$$

$$33,2 \text{ MPa} \leq 33,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{podmínka splněna}$$

4.2 Popis navržené konstrukce



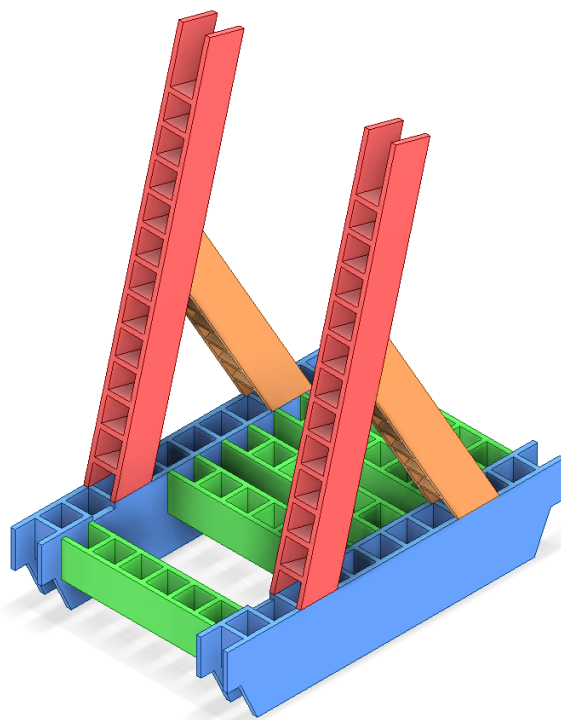
Obrázek 14 – Navržený stojan

Celá konstrukce stojanu je navržena z jednotného polotovaru, tím budou desky z ABS o tloušťce 10 mm. Hlavní části všech profilů jsou nařezány z těchto desek a jsou k sobě připojeny pomocí žeber a následně svařeny. Žebrování je také z ABS desek o stejné tloušťce. Jednotlivé prvky konstrukce jsou opět spojeny pomocí svařování. Stavba mnoha navržených profilů je podobná roštům dodávaných k solné komoře.

Při navrhování jsem také zvažoval možnost, že by jednotlivé profily, ze kterých se stojan skládá, mohly být vyrobeny pomocí odlévání, případně vstřikování. Tuto možnost jsem ale opustil, protože se budou vyrábět maximálně 2 stojany, tak by náklady na zhotovení spojené s těmito technologiemi, v případě takovéto kusové výroby, velmi vzrostly.

Konstrukci jsem rozdělil na 3 stavební prvky, jsou to nosníky, výztuhy a dva druhy podpěr. Prvky jsou označeny barevně na následujícím obrázku (obrázek 17).

Výkresová dokumentace je obsažena v přílohách A-E.

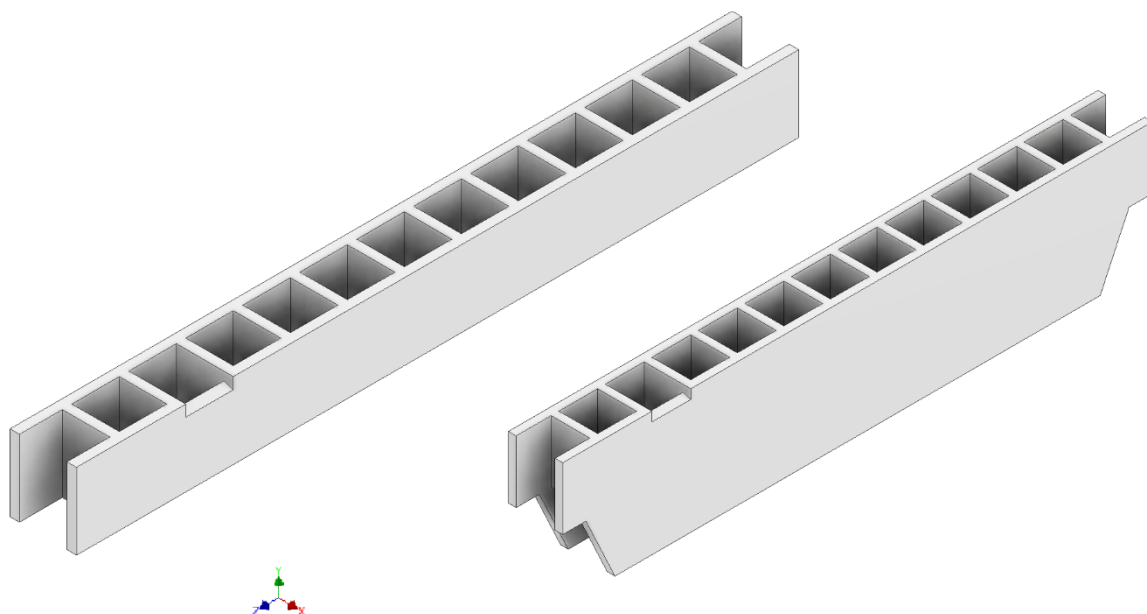


Obrázek 15 – Popis prvků konstrukce, modrá – nosníky, zelená – výztuhy, červená a oranžová – podpěry

4.2.1 Horizontální nosníky

Horizontální nosníky jsou určeny k nesení tíhy testovaného železničního kola. Slouží také k přenosu tíhy kola na spodní nosný trám. Tyto nosníky se skládají ze dvou desek, které jsou spojeny dvanácti žebry. Žebra tedy slouží ke spojení desek, ale také ke zvýšení tuhosti celého nosníku. Mezi druhým a třetím žebrem jsou nosníky opatřeny drážkou. Drážka slouží pro umístění železničního kola. Délka horizontálních nosníků je 760 mm.

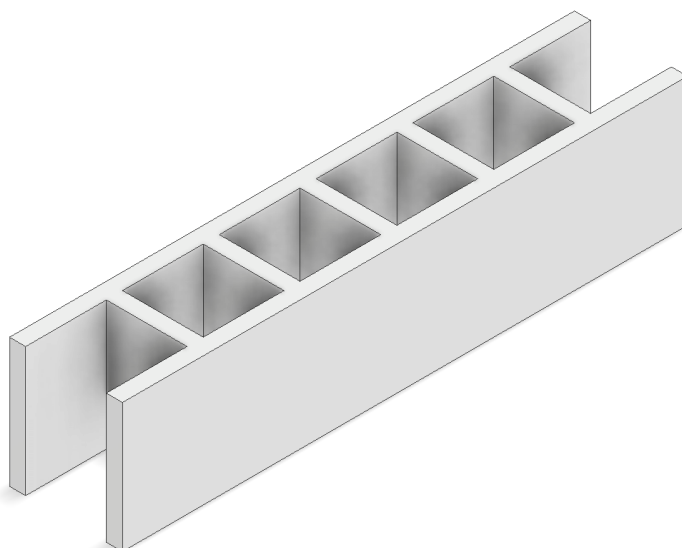
Nosníky jsem navrhl ve dvou variantách (obrázek 18). V první variantě mají nosníky po celé délce stále stejnou výšku 80 mm. V druhé variantě se výška profilu zvětšuje o dalších 80 mm ve vzdálenosti 30 mm od konců nosníku. Tato úprava oproti první variantě využije prostor dostupný pod spodním nosným prahem komory a zajišťuje lepší umístění celého stojanu v solné komoře (omezuje jeho pohyb v ose z). Pomáhá také minimalizaci ohybu při zatížení. Pro výsledný návrh jsem zvolil po konzultaci s firmou variantu 2.



Obrázek 16 – Varianty řešení nosníků, vlevo – varianta 1, vpravo – varianta 2

4.2.2 Výztuhy

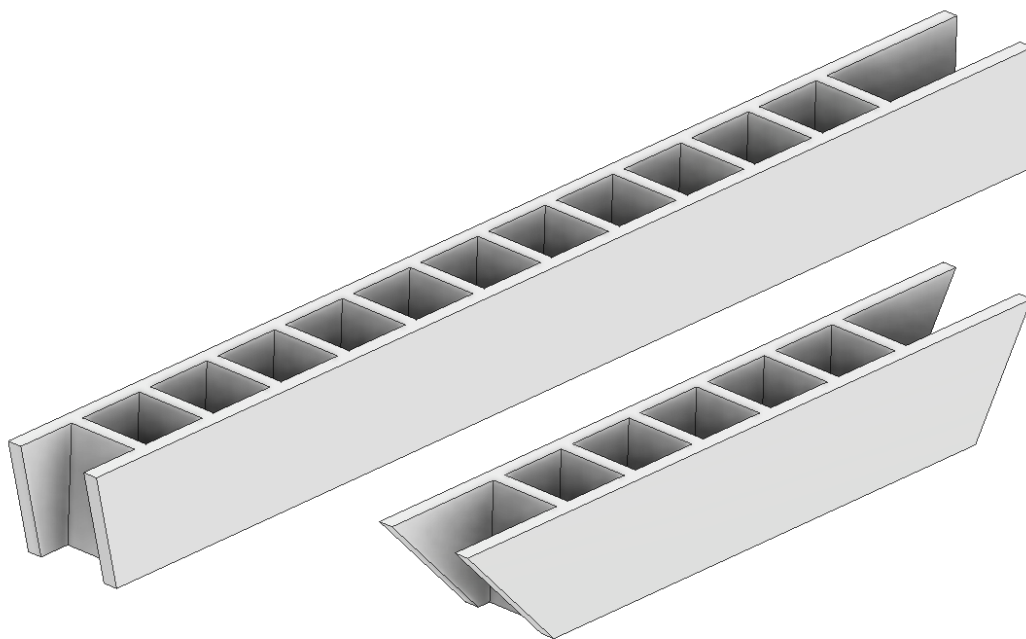
Výztuhy slouží ke zpevnění spodní částí rámu stojanu. Výztuhy jsou tvořeny dvěma deskami a pěti žebry. První výztuha je navařena o 10 mm níže než ostatní výztuhy, ty jsou zarovnané s horní plochou nosníků. První výztuha také zabraňuje posunutí kola po usazení do drážek. Délka výztuh je 350 mm.



Obrázek 17 - Výztuha

4.2.3 Podpěry

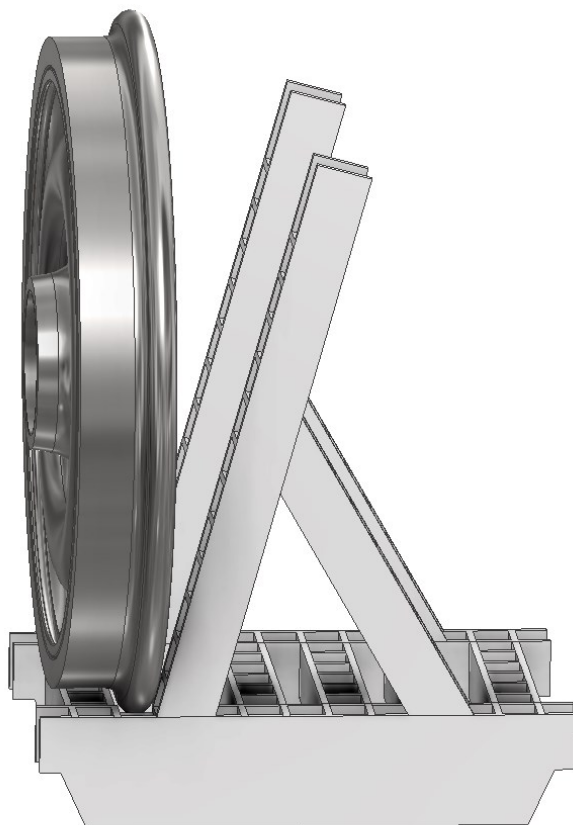
Podpěry jsem rozdělil na dva druhy: Primární a sekundární. **Primární podpěry** (na obrázku 17 červeně) slouží k podepření kola do stabilní pozice. Podpěry jsou odkloněny od roviny xy pod úhlem 15° . Jsou umístěny na úrovni třetích žebér nosníků. **Sekundární podpěry** (na obrázku 17 oranžově) jsou zde proto, aby dodaly stabilitu primárním podpěrám a lépe rozdělily zatížení ve svárech. Podpěry nejsou spojeny pomocí výztuh z důvodu zachování co největšího prostoru pro distribuci solné mlhy během testu.



Obrázek 18 - Podpěry

4.3 Kontrola MKP

Pro celkovou kontrolu konstrukce stojanu jsem použil výpočet pomocí metody konečných prvků. Výpočet byl proveden v MKP nástavbě CAD softwaru Inventor Professional 2020 od společnosti Autodesk. V MKP analýze jsem řešil případ, kdy se zkoušené železniční kolo umísťuje na stojan, a ještě se neopírá zadní stranou o podpěry (viz. obrázek 21). V tomto okamžiku by mělo vznikat v nosnících největší ohybové namáhání.



Obrázek 19 – Řešený případ v MKP analýze

4.3.1 Vstupní data

Uvažovaná hmotnost kola $m = 380 \text{ kg}$

Materiál stojanu – ABS (zvolen předdefinovaný z materiálové knihovny Inventoru)

4.3.2 Zjednodušení

Pro výpočet jsem testované železniční kolo nahradil dvěma reakčními silami na plochy drážek, ve kterých bude kolo usazeno. Model konstrukce také neobsahuje žádné svary, ty jsou v analýze nahrazeny vázanými dotyky.

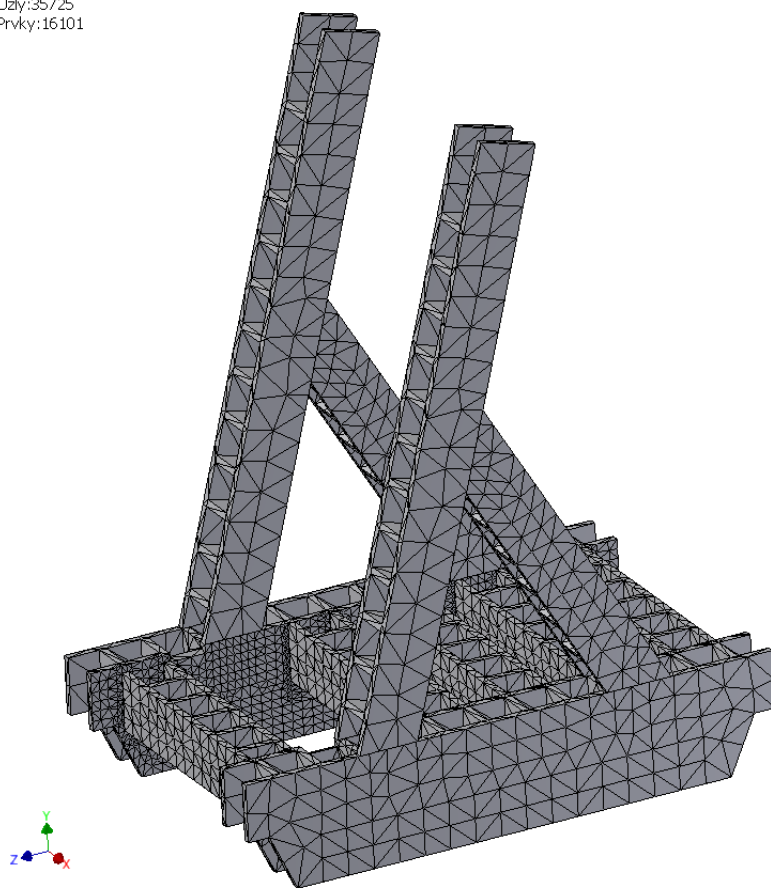
4.3.3 Síťování

Pro vytvoření sítě modelu jsem v předvolbách sítě zmenšil průměrnou velikost prvku na 0,07. S původní hodnotou 0,1 byla síť příliš hrubá. V okolí drážek nebylo potřeba provádět ruční zjemnění sítě, bylo provedeno automaticky softwarem při tvorbě sítě.

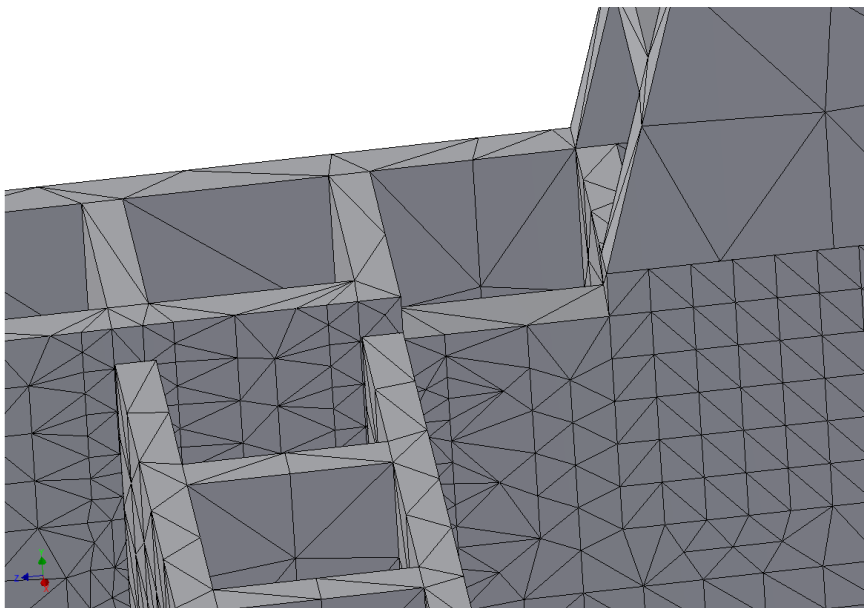
Parametry sítě:

- Počet uzlů: 35 725
- Počet prvků: 16 101
- Průměrná velikost prvku: 0,07
- Minimální velikost prvku: 0,2
- Součinitel zemních těles: 1,5
- Maximální úhel pootočení: 60°

Uzly: 35725
Prvky: 16101



Obrázek 20 – Síť modelu



Obrázek 21 – Detail sítě v okolí drážky

4.3.4 Okrajové podmínky

Konstrukce je uchycena pomocí 8 pevných vazeb. Pevné vazby jsou umístěny na koncích nosníků a jsou definovány pomocí vektorových komponentů následujícím způsobem: $x = 0 \text{ mm}$, $y = 1 \text{ mm}$, $z = 0 \text{ mm}$. Umístění okrajových podmínek je zobrazeno na obrázku 24.

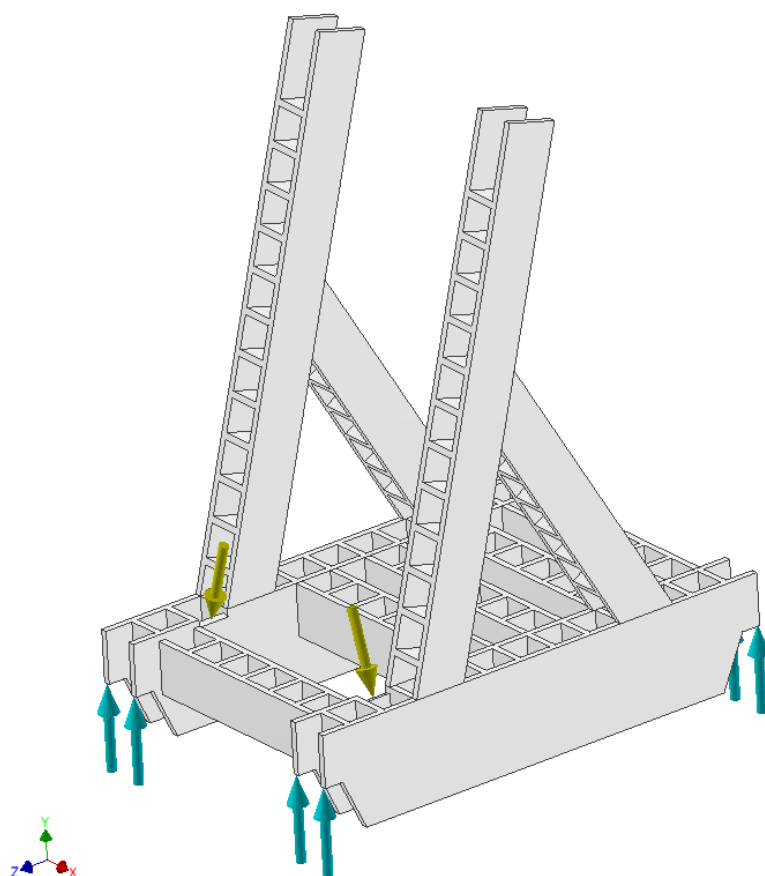
Jak je již zmíněno dříve, zatížení je definováno dvěma silami. Velikost těchto sil je odvozena od tíhové síly železničního kola podle vztahu č. 4.

Výpočet zatěžujících sil:

$$F = \frac{m \cdot g}{2} \quad (4)$$

$$F = \frac{380 \cdot 9,81}{2}$$

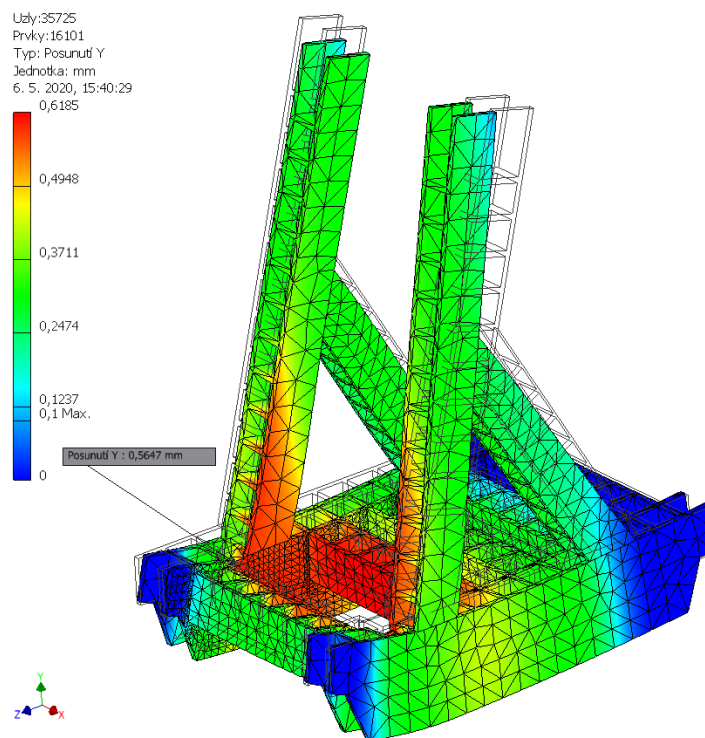
$$F = 1\,864 \text{ N}$$



Obrázek 22 – Okrajové podmínky (žluté šipky – zatížení, modré šipky – vazby)

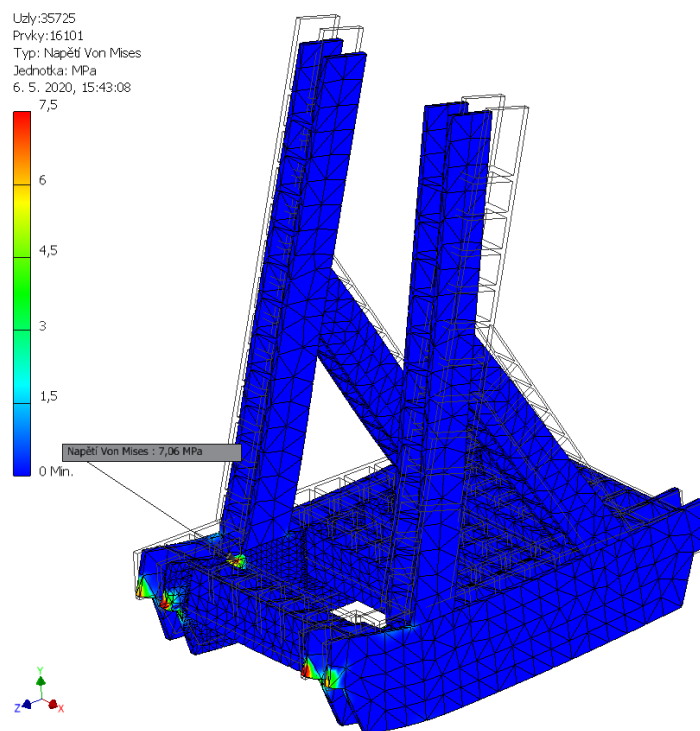
4.3.5 Výsledky MKP analýzy

Posunutí (průhyb) v ose y – Průhyb konstrukce je zobrazen na dalším obrázku (obrázek 25). Můžeme vidět, že k největšímu průhybu dochází v okolí jedné z výztuh a to přibližně 0,6 mm. V místě drážky dochází k průhybu přibližně 0,56 mm.

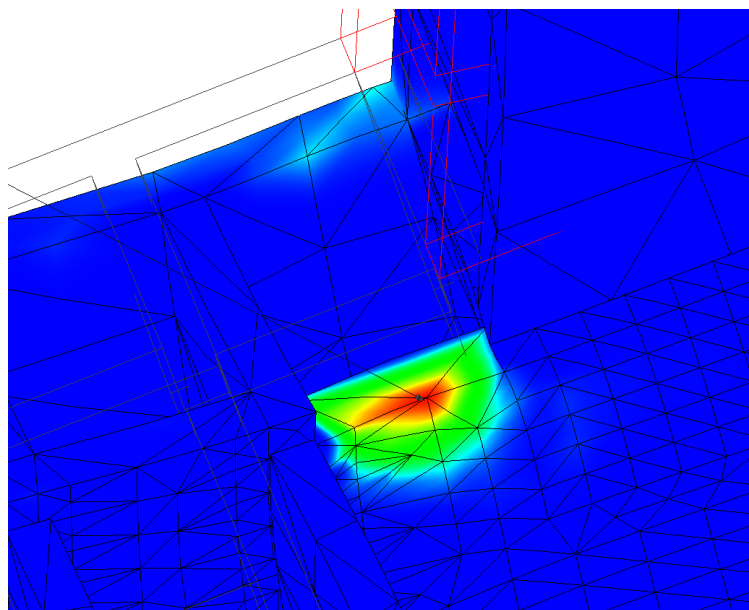


Obrázek 25 – Výsledek MKP, posunutí v ose Y

Redukované napětí – Software Inventor používá pro výpočet redukovaného napětí metodu HHM (von Mises). Z výsledků analýzy (obrázek 26) můžeme vyčíst, že hodnota redukovaného napětí v místě drážky vyšla přibližně 7 MPa. Vzhledem k mezi kluzu použitého materiálu je tato hodnota vyhovující.



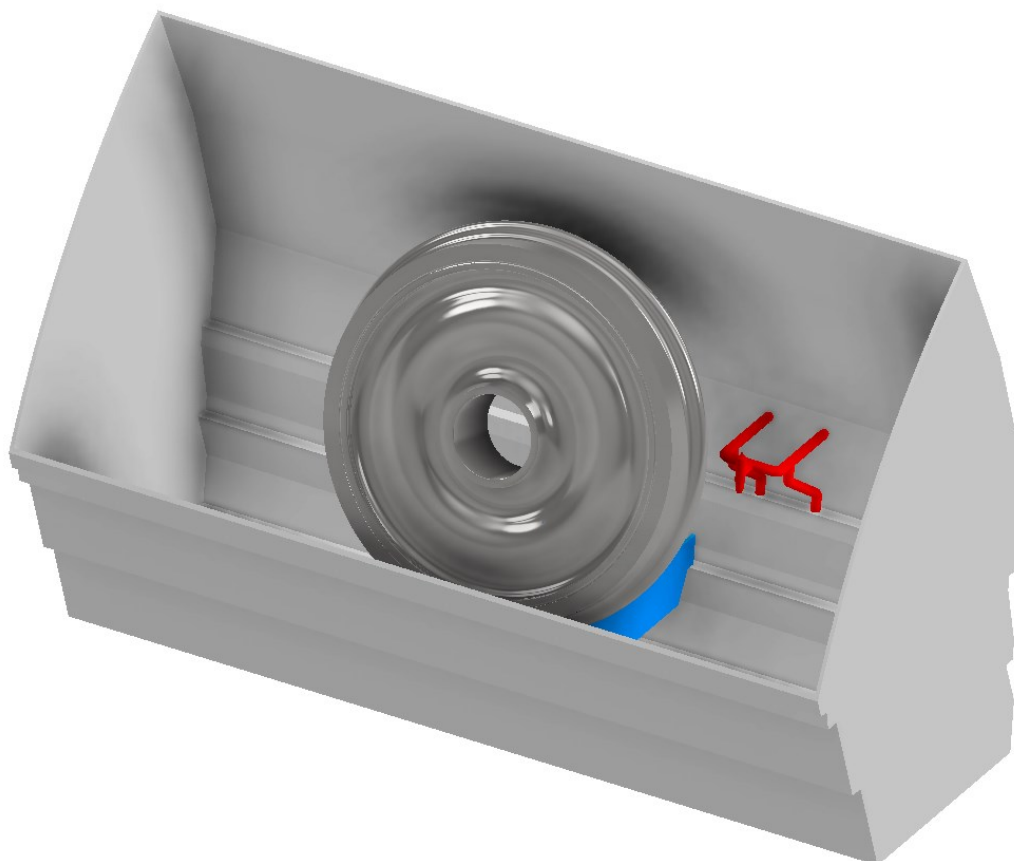
Obrázek 26 – Výsledek MKP, redukované napětí



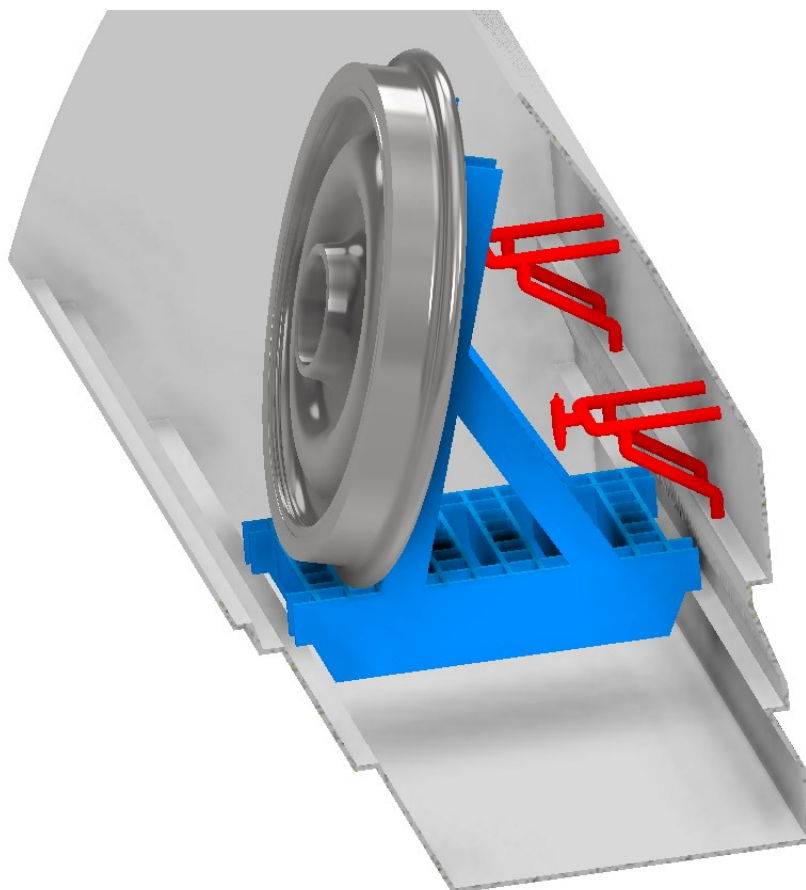
Obrázek 23 – Detail průběhu napětí v okolí drážky

4.4 Vizualizace

V této kapitole jsou pouze obrázky, které pro názornost zobrazují umístění stojanu, i s uloženým železničním kolem, ve zkušebním prostoru solné komory.



Obrázek 24 – Vizualizace uložení



Obrázek 25 – Vizualizace uložení, pohled z boku

Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval návrhem stojanu pro uložení železničního kola do solné komory. Toto téma jsem získal od firmy BONATRANS GROUP a.s. sídlící v Bohumíně.

V úvodu práce jsem se seznámil s problematikou korozního testování a jeho variantami. Dále jsem ve své práci rozebral řešenou situaci s ní související problematiku. Po upřesnění všech požadavků a vstupních parametrů jsem přestoupil k návrhu řešení. Prvním problémem řešení byla volba materiálu stojanu. Materiál musel být zvolen tak, aby odolával agresivnímu prostředí uvnitř solné komory. Zároveň musel mít dostačující mechanické vlastnosti potřebné k bezpečnému unesení železničního kola. Následně vznikaly koncepty řešení, ze kterých jsem vybral nejvhodnější variantu a s tou pokračoval v kompletním návrhu. K vytvoření 3D modelů jsem používal CAD software INVENTOR firmy Autodesk. Po dokončení návrhu jsem celou konstrukci ověřil pomocí MKP analýzy.

Výstupem této bakalářské práce je tedy kompletní návrh stojanu s příslušnou výkresovou dokumentací. Práce bude použita zadávající firmou pro výrobu navrženého zařízení a jeho následné používání při testování korozní odolnosti železničních kol.

Myslím si, že mnou navržené zařízení je konstrukčně jednoduché, funkční, nenáročné na výrobu či finance a zároveň splňuje všechny zadané požadavky.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN ISO 9227. Korozní zkoušky v umělých atmosférách: Zkoušky solnou mlhou. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [2] Salt spray test. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Salt_spray_test
- [3] Cyclic corrosion testing. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_corrosion_testing
- [4] Urychlené korozní zkoušky. Technopark Kralupy [online]. Kralupy nad Vltavou: Technopark Kralupy, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.technopark-kralupy.cz/urychlene-korozni-zkousky#>
- [5] Ascott Analytical: Global Leaders in the Supply of Corrosion Test Cabinets [online]. Tamworth: Ascott Analytical Equipment, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.ascott-analytical.com/>
- [6] Kola kolejových vozidel. Vagony.cz [online]. Nové Město nad Metují: Bc. Martin Zítka, 2018 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.vagony.cz/pojezdy/kola.html>
- [7] GHH-BONATRANS: Pioneers of Wheelset Solutions [online]. Bohumín: GHH-BONATRANS, 2018 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.ghh-bonatrans.com/cs/>
- [8] Overview of materials for High Density Polyethylene (HDPE). MatWeb: Material property data [online]. Blacksburg, USA: MatWeb, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=482765fad3b443169ec28fb6f9606660>
- [9] ABS Material Data Sheet. In: Test Standard Labs [online PDF]. USA: Test Standard Labs, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: http://www.teststandard.com/data_sheets/ABS_Data_sheet.pdf
- [10] MCKEEN, Laurance W. Effect of Temperature and other Factors on Plastics and Elastomers [online]. 3rd Edition. Oxford: Elsevier, 2014 [cit. 2020-05-12]. ISBN 978-0-32331-017-8. Dostupné z: Effect of Temperature and other Factors on Plastics and Elastomers
- [11] Svařování plastů. AUSPERGER, Aleš. Technologie zpracování plastů [online]. Svitavy: Code Creator, 2016, s. 13 [cit. 2020-05-12]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/13.html>

[12] Desky ABS. AK Plast s.r.o. [online]. Leděč nad Sázavou: AK Plast, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.akplast.cz/abs-q>

Seznam příloh

Příloha A – SLA0263-1, Stojan (A1)

Příloha B – SLA0263-2, Horizontální nosník (A3)

Příloha C – SLA0263-3, Primární podpěra (A3)

Příloha D – SLA0263-4, Sekundární podpěra (A3)

Příloha E – SLA0263-5, Výztuha (A3)

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu Dr. Ing. Jaroslavovi Meleckému za jeho trpělivost, připomínky a pomoc při tvorbě práce. Také bych chtěl poděkovat společnosti BONATRANS Group a.s., konkrétně panu Ing. Vítovi Běhálkovi za jeho čas a pomoc při zpracování bakalářské práce.